

## 両眼視差の有無が実物体の色恒常性の成立度合いに与える影響

深瀬 貴大・福田 一帆・内川 恵二

東京工業大学 大学院総合理工学研究科  
〒 226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 G2-1

### 1. はじめに

人間の視覚系は照明光の変化によらない安定した表面色知覚（色恒常性）を実現している。色恒常性の手がかりについては過去に様々なものが調べられているが、その一つに両眼視差も挙げられる。両眼視差が色恒常性に与える影響を調べた実験<sup>1)</sup>では、両眼視差があると色恒常性が向上すると報告している。この色恒常性の実験においては、ディスプレイ上に刺激を呈示し、両眼視差の有無の影響を調べている。

一方で、実物体における実験では、ディスプレイ上の刺激を用いた場合に比べて概して高い色恒常性の成立度合いを示している<sup>2,3)</sup>。実物体のほうがディスプレイ上への刺激呈示よりも多くの空間的情報が被験者へ与えられることが、この高い色恒常性の理由の一つと考えられる。しかし、多くの空間的情報の一つである両眼視差が実物体における高い色恒常性にどの程度貢献しているかについてはまだ明らかになっていない。

両眼視差が色恒常性をどの程度向上させるかは色恒常性を調べるうえで重要な問題であるが、過去の研究ではディスプレイ上の刺激を用いているのみであり、実際の環境下での色恒常性に対する両眼視差の寄与を調べた研究はない。

本研究では、実物体の持っている両眼視差以外の手がかりは保持したうえで、両眼視差のみを取り除いた条件で色恒常性を測定することを行う。これにより、他の手がかりが存在する環境下での両眼視差の影響を調べる。

2010 年夏季大会。

### 2. 実験方法

#### 2.1 シノプター

実物体環境において両眼視差の状態をコントロールするため、図1に示すシノプター (synopter) を用いた。シノプターはビームスプリッターとミラーを組み合わせて、両眼に同じ網膜像を入力する光学装置である。被験者はこれを通して実物体の刺激を観察することで、刺激の両眼視差がゼロの状態となる。

#### 2.2 実験刺激

図2に被験者から見た実験刺激の様子を示す。刺激の視野角は 8.0 deg 四方に制限されている。刺激は様々な色・形の幾何物体からなり、視距離 81~103 cm の範囲で空間内に階段状に置かれている。これらの幾何物体は照明光の鏡面反射成分による色恒常性への効果を抑えるた

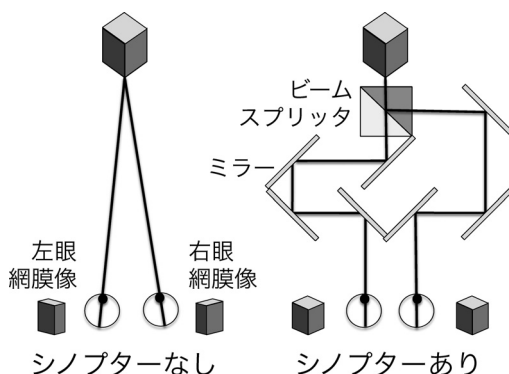


図1 シノプター

シノプターがない場合は両眼に入力される網膜像が異なる（両眼視差が生じている）のに対し、シノプターを通して対象を観察すると両眼に同じ網膜像が入力される（両眼視差がゼロ）。

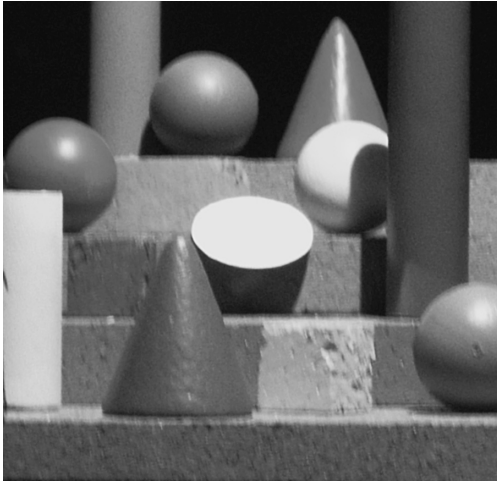


図2 実験刺激

中央にある白い楕円がテストパッチで、その被験者の位置から見た大きさは、約  $1.9 \times 1.0$  deg である。実験に用いた照明のテストパッチ部分での輝度は約  $40 \text{ cd/m}^2$ 、照度は約  $1200 \text{ lx}$  である。

め、つや消し塗装を施してある。実験刺激は、被験者から見て刺激の手前上方からプロジェクターで照らされている。

刺激物体の中にはテストパッチを配置した。テストパッチは直径  $3 \text{ cm}$  の白い円形の紙で、空間内のほぼ中央に配置され、視距離は  $91 \text{ cm}$  である。また、テストパッチの面はプロジェクターの投影角度に垂直となるよう、水平から  $32^\circ$  傾斜しており、被験者からは楕円に見える。このテストパッチの部分のみ、周辺への照明光条件とは独立にプロジェクターによる照明光の色を可変にする。このスポット照明法によりテストパッチは表面色モードでその色が変わるように見え、被験者はテストパッチの表面の色を調整できるテスト環境が作れる。

### 2.3 実験条件

視差条件は、両眼視（シノプターを通さずに観察、両眼視差あり）、シノプター視（シノプターを通して観察、両眼視差ゼロ）、単眼視（シノプターは通すが右眼だけで観察、両眼視差は定義できない）の3条件である。また、照明条件は色温度  $20000 \text{ K}$ 、 $6500 \text{ K}$ 、 $3000 \text{ K}$  の3

条件である。すべての被験者は、3種類の視差条件  $\times$  3種類の照明条件の9条件について実験を行った。

### 2.4 手続き

被験者は照明に順応するため、各試行の初めに2分間刺激を観察する。その後、被験者はその照明環境下で白色の紙であるように見えるまで、テンキーを操作してテストパッチ部分のプロジェクターの色度を調整する。調整が終わると、被験者のキー操作により調整結果が記録される。この手続きを1試行とし、各被験者は9つの実験条件について各10回の合計90試行を行った。

各被験者が実験を終えたあと、実験者は各試行におけるテストパッチの色度調整結果を再現し、それを分光測光することで色度値を求めた。視差条件による観察環境の違いを考慮して、シノプター視条件と単眼視条件に関しては照明の色度測定も含め、シノプターを通して分光測光を行った。

### 2.5 被験者

正常視力・正常色覚の3名 (KY, OT, TF) が実験に参加した。うち1名 (TF) は第1著者である。

## 3. 結果

図3に各被験者の色度調整結果を示す。LMSの分光感度はStockmanら<sup>4)</sup>のものを用いた。被験者KYとTFはどの視差条件でも色温度  $6500 \text{ K}$  についてほぼ正確に調整を行っている。また、被験者全体では、各照明間で照明の変化量よりも調整結果の変化量のほうが小さいことがわかる。

色恒常性の成立度合いを各視差条件間で比較するため、Color Constancy Index (CI) を算出した。CIの定義を図4に示す。色温度  $X[\text{K}]$ 、 $Y[\text{K}]$  それぞれにおける照明の色度値を  $I_X$ 、 $I_Y$ 、被験者の調整結果を  $R_X$ 、 $R_Y$  とした場合、CIは以下の式で表せる。

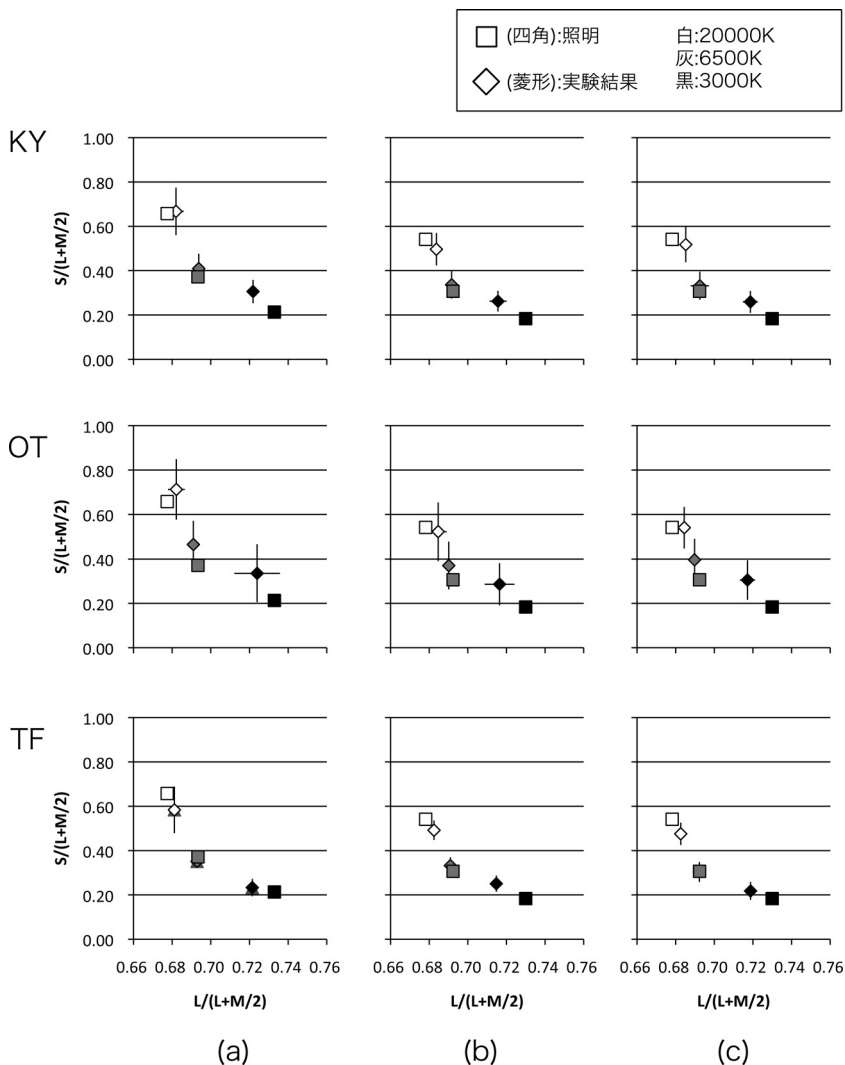


図3 各被験者のテストパッチ色度調整結果

(a) 両眼視, (b) シノプター視, (c) 単眼視. シノプター内のビームスプリットによる色変化があるため, (a) と (b) および (c) の間で照明の色度にずれがある. エラーバーは標準偏差を示している.

$$CI = \frac{R_Y - R_X}{I_Y - I_X}$$

この定義より, CI は 1 に近ければ色恒常性の成立度が高い. r-g 方向 (L/(L+M/2) 軸) と y-b 方向 (S/(L+M/2) 軸) で色度変化のスケールが大きく異なるため, L/(L+M/2) 軸・S/(L+M/2) 軸それぞれについて算出した CI を図 5 に示す. 両眼視とシノプター視, 両眼視と単眼視を比較すると, いずれも両眼視のほうが CI が高く, 両眼

視差があるほうが色恒常性がよい傾向にある. 一方, シノプター視と単眼視の比較では, どちらが色恒常性がよいか明確な傾向は見られなかった. また, 被験者 OT の L/(L+M/2) 軸における色温度 6500K と 20000K の測定結果から求めた CI 値を除き, 全体の CI の範囲は 0.51~0.90 の範囲にあった.

#### 4. 考 察

実物体環境下において, 両眼視差は色恒常性

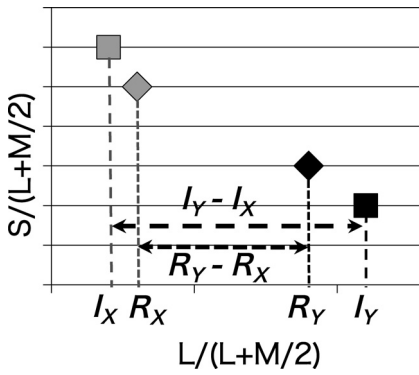


図 4 Color Constancy Index(CI)の説明  
 正方形は照明の、菱形は実験結果それぞれの色度点である。シンボルの色は灰色が色温度 X[K]、黒が色温度 Y[K]の場合を示す。2つの異なる色温度間で、照明の色度値の差と、実験結果の色度値の差の比を取る。この図では  $L/(L+M/2)$  軸について表しているが、 $S/(L+M/2)$  軸についても同様に算出する。

を向上させることが示唆された。過去には、面の奥行きが知覚される明るさに影響を及ぼすこと<sup>5)</sup>、見えの立体構造が色の見えに影響を及ぼすこと<sup>6)</sup>が示されている。これらにより、両眼視差が照明の空間的な分布を推定するうえで重要な役割をしている可能性がある。今後の課題としては、両眼視差が色恒常性のメカニズムに具体的にどのように貢献しているのか、そのアルゴリズムを解明することが必要である。

また、ディスプレイ上に刺激を呈示した、本研究と類似した実験<sup>1)</sup>では、CIが視差ゼロで約0.3、視差ありで約0.5であり、本研究のCIはこれらと比して高い。本研究の視差条件におけるCI値は、実物体では色恒常性の成立度が高いとした過去研究でのCI(0.81~0.93<sup>2)</sup>、Ave. 0.79<sup>3)</sup>)に比べても遜色なく、これらの過去

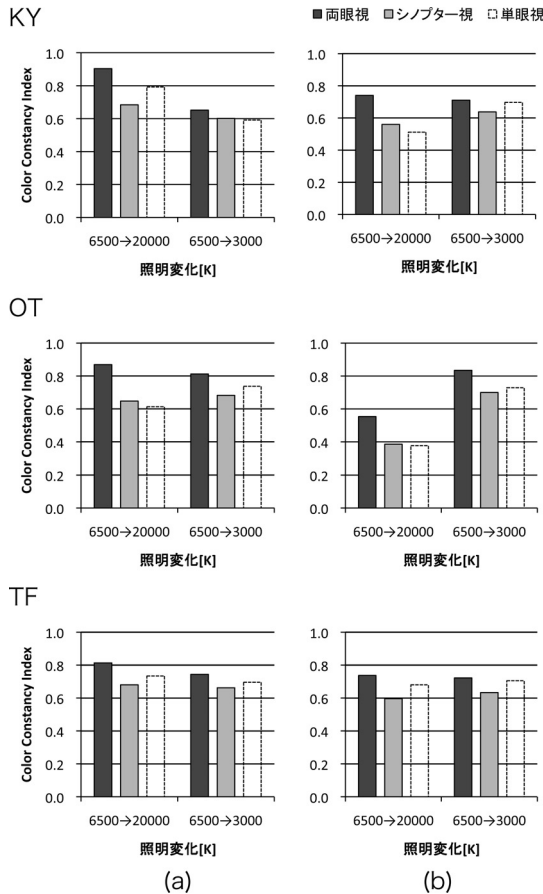


図 5 各被験者の CI  
 (a)  $S/(L+M/2)$  軸, (b)  $L/(L+M/2)$  軸

研究を裏づけるものである。実物体環境では、両眼視差以外にもたとえば二次反射やテクスチャなど、ディスプレイによる実験では完全に再現されていない手がかりによって色恒常性が向上されているかもしれない。あるいは、人間は不自然なシーンを不自然であると無意識に判断していて、自然シーン観察時とは異なる処理を行っている可能性も考えられる。

## 文 献

- 1) J. N. Yang and S. K. Shevell: Stereo disparity improves color constancy. *Vision Research*, **42**, 1979-1989, 2002.
- 2) V. M. N. de Almeida, P. T. Fiadeiro and S. M. C. Nascimento: Color constancy by asymmetric color matching with real objects in three-dimensional scenes. *Visual Neuroscience*, **21**, 341-345, 2004.
- 3) M. Hedrich, M. Bloj and A. I. Ruppertsberg: Color constancy improves for real 3D objects. *Journal of Vision*, **9**, 1-16, 2009.
- 4) A. Stockman, D. I. A. Macleod and N. E. Johnson: Spectral sensitivities of the human cones. *Journal of the Optical Society of America. A*, **10**, 2491-2521, 1993.
- 5) 内川恵二, 加藤憲史郎, 横井健司, 金子寛彦: 両眼立体視空間における表面の奥行きが色の見えに及ぼす影響. *VISION*, **15**, 255-260, 2003.
- 6) M. G. Bloj, D. Kersten and A. C. Hurlbert: Perception of three-dimensional shape influences colour perception through mutual illumination. *Nature*, **402**, 877-879, 1999.